

УДК 622.279.5(470.46)

В.Н. Чельцов, М.И. Микляев, Т.В. Чельцова, Л.А. Калякина

Виброгеодинамическая цикличность пластовых температур в простаивающих скважинах

Известно, что под воздействием на земную кору сил циклического виброгеодинамического генезиса происходит чередование во времени сжатий и разуплотнений геосреды, в том числе заключенных в ней флюидонасыщенных коллекторов на нефтегазовых месторождениях [1–8]. Эти процессы обуславливают циклический характер динамики параметров разработки месторождений углеводородов. Так, на примере простаивающих скважин Астраханского газоконденсатного месторождения (ГКМ) авторами настоящей статьи была показана цикличность изменения пластовых давлений и степени обводнения продукции скважин [9–11].

Геодинамическая активность Каспийского региона отмечается и в других публикациях, посвященных особенностям Астраханского ГКМ. Продолжение исследований по изучению динамики других параметров разработки этого месторождения имеет практическое значение для ее совершенствования, в том числе для построения адекватной геологической модели залежи и прогнозирования показателей разработки. Например, как было показано в работе [9], только на основе блоковой геологической модели залежи возможно прогнозировать параметры обводнения продукции скважин. Было установлено также, что по характеру изменения пластовых давлений и степени обводнения продукции скважин можно определять положение разрывных (безамплитудных) нарушений, трудно выявляемых стандартными методами [11]. Данные о цикличности изменения дополнительных параметров разработки позволят повысить точность таких определений. Отметим также, что циклические процессы хорошо прогнозируются при наличии соответствующей информации на каком-либо отрезке времени.

Цикличность изменения пластовых температур подтверждается данными, полученными при исследовании скважин KUN-1 (о. Кунашир) и Кольской сверхглубокой [12, 13]. В работе [13] утверждается, что «установлены короткопериодные вариации (0,75–1,75 сут), их корреляция с лунно-солнечными приливами».

В указанных работах описаны результаты кратковременных наблюдений: в 2002 г. – 150 сут; в 2003 г. – 90 сут [13]; в 2007–2008 гг. – не более 9 мес. [12]. По этой причине цикличность с большим периодом изменения пластовых температур не была установлена (для сравнения: на Астраханском ГКМ наблюдения велись продолжительное время, поэтому была установлена цикличность с периодами 3÷5 и 18 лет [9–11]).

В связи с сокращением добычи газа на Астраханском ГКМ с 1989 г. появилась возможность наблюдать за динамикой пластовых температур по большому количеству скважин, простаивающих длительное время. Для анализа были использованы данные по семи таким скважинам с периодом измерения температур не менее трех лет (период малой цикличности) и с количеством измерений температур не менее пяти. Сведения об измерении пластовых температур по выбранным скважинам приведены в табл. 1.

Проведенный анализ свидетельствует о циклическом изменении во времени значений пластовых температур. Колебания температур оказались менее выраженными, чем колебания пластовых давлений [11], а следовательно, может происходить некоторое искажение динамики температур от погрешности измерений. Для компенсации указанной погрешности осредненная зависимость изменения температур строилась не по отдельным скважинам, а по группам: 1 – скв. 1–3; 2 – скв. 4 (выделена в отдельную группу, так как является пьезометрической); 3 – скв. 5, 16, 17.

Ключевые слова:

виброгеодинамическая цикличность, пластовая температура, сжатие и разуплотнение геосреды, амплитуда колебаний.

Keywords:

vibrogeodynamic cyclicity, formation temperature, compression and decompression geomedium, oscillation amplitude.

Таблица 1

Пластовые температуры в простаивающих скважинах

Показатель	Группа 1			Группа 2	Группа 3			Среднее значение
	скв. 1	скв. 2	скв. 3	скв. 4	скв. 5	скв. 16	скв. 17	
Период измерения, годы	19,16	21,94	13,71	16,58	9,82	22,52	14,46	16,88
Количество циклов	4,5			3	4,5			4,28
Количество измерений	19	18	14	14	12	17	13	15,28
Плотность измерений, количество измерений в год	0,992	0,82	1,021	0,844	1,222	0,755	0,899	0,905

№ скв. здесь и далее по тексту условные.

Скв. 1–5 соответствуют скв. 1–5 в работе [11].

Скв. 4 – пьезометрическая скважина.

При построении указанных зависимостей по скв. 1, 3, 5, 17 использовались приведенные значения температур: на измеренные значения температур вводилась поправка, постоянная для каждой скважины, чтобы среднearифметическое значение (t_{cp}) этих температур по скважинам одной группы было одинаковым (рис. 1). Значения измеренных температур по скв. 2, 4, 16 и приведенных по скв. 1, 3, 5, 17 представлены в табл. 2. Введение постоянной поправки на значения температуры не искажает характер ее динамики.

Зависимости температур от времени и их средние тренды по группам скважин, представленные на рис. 1, показывают, что в скв. 1, 2 и 3 за период 1990–2010 гг. прошло 4,5 цикла изменения пластовых температур, в скв. 4 за период 1994–2010 гг. – 3 цикла, в скв. 5, 16, 17 за период 1998–2010 гг. – 4,5 цикла.

Среднерасчетные периоды циклического изменения пластовых температур, временной диапазон этих изменений, амплитуды и привязка по времени экстремальных значений температур по рассматриваемым скважинам приведены в табл. 3.

В ходе анализа данных табл. 3 и рис. 1 выявлены следующие особенности.

В среднем период цикла изменения пластовых температур простаивающих скважин составил 4,21 года (в том числе по 1-й группе – 4,20; по 2-й – 4,23 и по 3-й – 4,22), что практически совпало с известным периодом цикла сейсмических событий ≈ 4 года. Расчетные периоды увеличились с 4,16 года в 1990–1995 гг. до 4,46 года в 2001–2006 гг. и затем снизились до 4,28 года в 2005–2010 гг., что практически совпало с соответствующими данными по пластовым давлениям [11]. Эти колебания кроме возможных естественных причин могут быть обусловлены тем, что измерения температур проводились произвольно, не целенаправлен-

но для установления их экстремальных (максимальных и минимальных) значений, а также погрешностью измерений. Однако, как было показано в работе [11], с 2000 г. измерения давлений проводились приборами очень высокой точности, но диапазон изменения периодов при этом не сократился.

Амплитуды колебаний значений пластовых температур относительно их среднего тренда составили в среднем $\pm 1,95$ °С (в том числе по 1-й группе – $\pm 2,04$; по 2-й – $\pm 1,93$; по 3-й – $\pm 1,87$ °С).

Анализ распределения экстремальных (максимальных и минимальных) значений температур во времени показал, что семь рассматриваемых скважин делятся на две группы: к первой группе относятся скв. 1–4, ко второй – скв. 5, 16 и 17. Циклическое изменение температур в этих группах находится в противофазе, т.е. когда в одной группе наблюдаются максимальные температуры, в другой они минимальные.

Есть предположение [11], что указанные группы скважин располагаются в разных (соседних) блоках залежи, которые испытывают динамическое воздействие кряжа Карпинского с юго-запада. Однако это предположение не совсем подтверждается вышеприведенными данными по изменению температур, так как скв. 3 и 5, в отличие от их группировки по давлению, попали в разные группы.

Анализ распределения скважин по площади залежи показал, что продолжительность периодов изменения пластовых температур не зависит от местоположения скважин относительно разломов, в отличие от продолжительности периодов изменения пластовых давлений (рис. 2).

По шести скважинам, находящимся в осевых (центральных) частях блоков, средний период изменения пластовых давлений составляет 4,21 года, так же, как и средний период

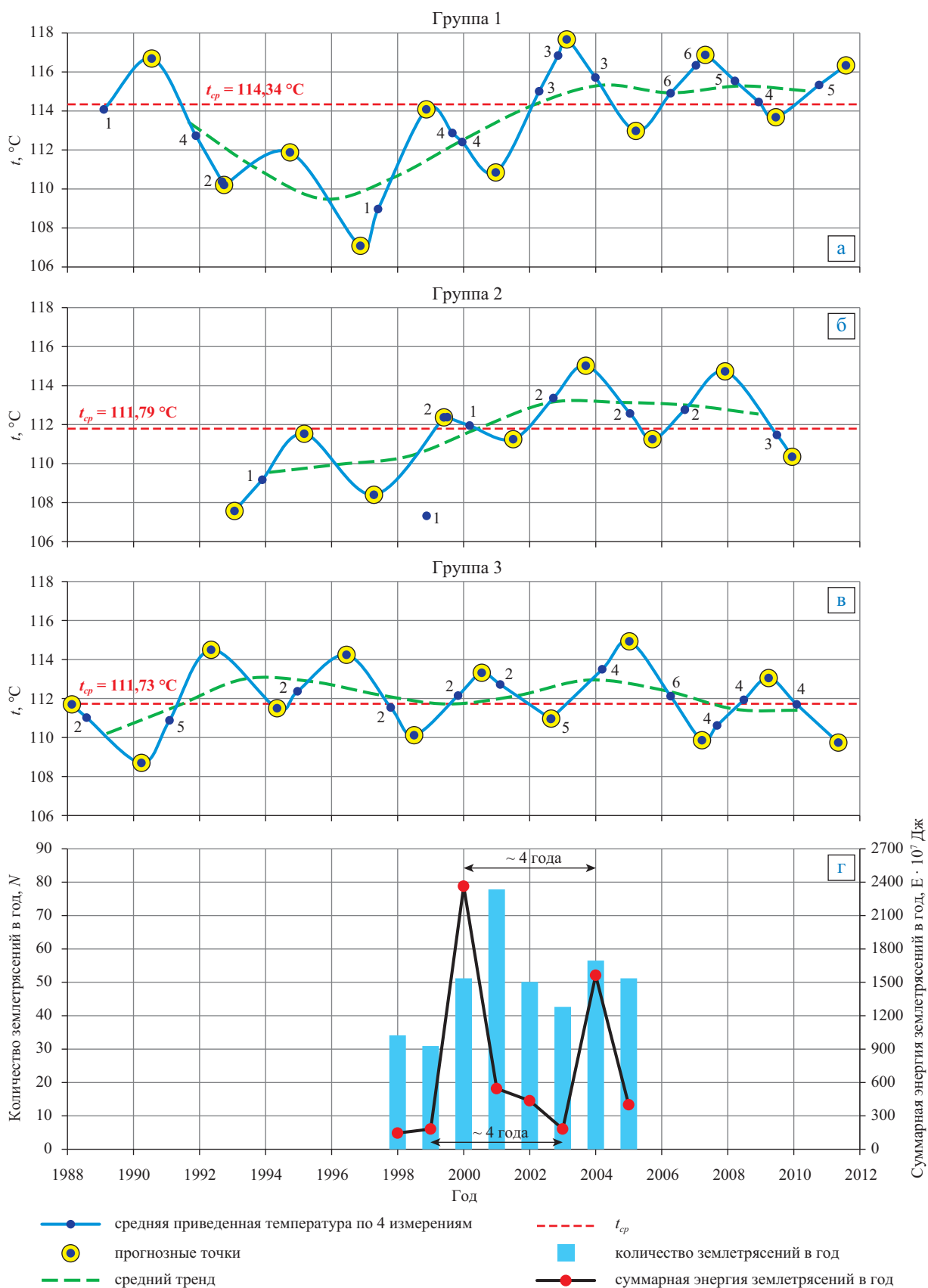


Рис. 1. Сопоставление циклического характера динамики пластовых температур в группах скважин Астраханского ГКМ (а, б, в) и цикличности сейсмособытий Воронежского кристаллического массива, составленной по данным Воронежского государственного университета (Л.И. Недежка, Е.Ю. Вторников) (г)

Таблица 2

Значения пластовых температур в скв. 1–5, 16, 17

Скв. 1		Скв. 2		Скв. 3		Скв. 4		Скв. 5		Скв. 16		Скв. 17	
время, годы	$t, ^\circ\text{C}$	время, годы	$t, ^\circ\text{C}$	время, годы	$t, ^\circ\text{C}$	время, годы	$t, ^\circ\text{C}$	время, годы	$t, ^\circ\text{C}$	время, годы	$t, ^\circ\text{C}$	время, годы	$t, ^\circ\text{C}$
11,90	114,61	9,10	114,08	17,41	108,97	13,90	109,17	20,25	111,77	8,14	110,99	14,81	112,43
12,15	108,71	11,30	115,08	18,99	114,97	18,88	107,32	20,85	112,75	9,02	111,05	15,14	112,31
12,25	107,10	12,15	113,34	19,69	107,78	19,24	111,61	22,19	109,48	10,78	108,62	17,52	110,64
13,18	112,81	19,55	114,83	19,88	116,09	19,72	113,16	22,74	112,48	10,86	111,16	18,07	112,44
19,54	110,83	20,08	112,63	22,68	116,38	20,18	111,95	23,79	112,99	11,03	113,65	19,42	112,54
20,04	111,49	21,57	109,88	24,56	114,87	22,13	112,64	25,48	112,02	11,19	110,74	21,36	112,68
20,70	112,49	23,17	115,83	26,09	114,43	23,31	114,09	26,40	112,06	11,61	110,24	22,25	105,67
22,55	116,85	24,10	114,40	27,01	116,31	24,93	112,83	26,85	111,89	22,72	112,46	23,31	114,68
23,33	117,01	26,23	114,32	27,27	116,55	25,15	112,32	27,66	110,38	24,18	112,35	24,23	115,07
23,69	116,59	26,55	115,95	28,13	115,57	26,07	112,35	28,55	112,36	24,60	113,65	26,40	111,13
25,90	114,46	26,94	112,96	28,45	115,36	27,33	113,18	28,86	111,82	25,93	112,82	27,48	109,49
25,96	114,5	27,09	114,76	29,23	114,27	28,62	111,65	30,07	110,72	26,55	112,78	28,12	111,91
26,23	116,29	27,27	116,14	31,12	114,84	29,37	111,65			27,47	110,72	29,27	111,53
27,29	120,74	27,75	115,31			30,48	111,12			27,76	112,14		
27,77	115,37	28,73	113,78							28,90	111,39		
28,09	115,73	29,34	114,42							29,90	112,22		
29,34	115,7	30,29	115,30							31,13	112,33		
30,36	115,57	31,04	115,25										
31,06	115,67												
	$t_{cp} = 114,34$		$t_{cp} = 114,34$		$t_{cp} = 114,34$		$t_{cp} = 111,79$		$t_{cp} = 111,73$		$t_{cp} = 111,73$		$t_{cp} = 111,73$

Отсчет времени ведется с конца 1980 г.

По скв. 1, 3, 5, 17 даны приведенные значения температуры.

Таблица 3

Параметры цикличности динамики пластовых температур по простаивающим скважинам Астраханского ГКМ

Показатель	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Среднее значение
	скв. 1–3	скв. 4	скв. 5, 16, 17	
Амплитуда изменения температуры, °С	±2,04	±1,93	±1,87	±1,95
Среднерасчетный период цикла, годы	4,201	4,225	4,222	4,213
Минимальные и максимальные периоды циклов, годы	4,00÷4,38	4,04÷4,40	4,00÷4,74	4,00÷4,54
Время проявления максимальных значений температур, годы	10,55; 14,74; 18,87; 23,12; 27,32	23,70; 27,92	16,45; 20,55; 25,02; 29,24	
Время проявления минимальных значений температур, годы	12,74; 16,87; 20,97; 25,22; 29,46	21,50; 25,72; 29,95	18,50; 22,65; 27,22	

Отсчет времени ведется с конца 1980 г.

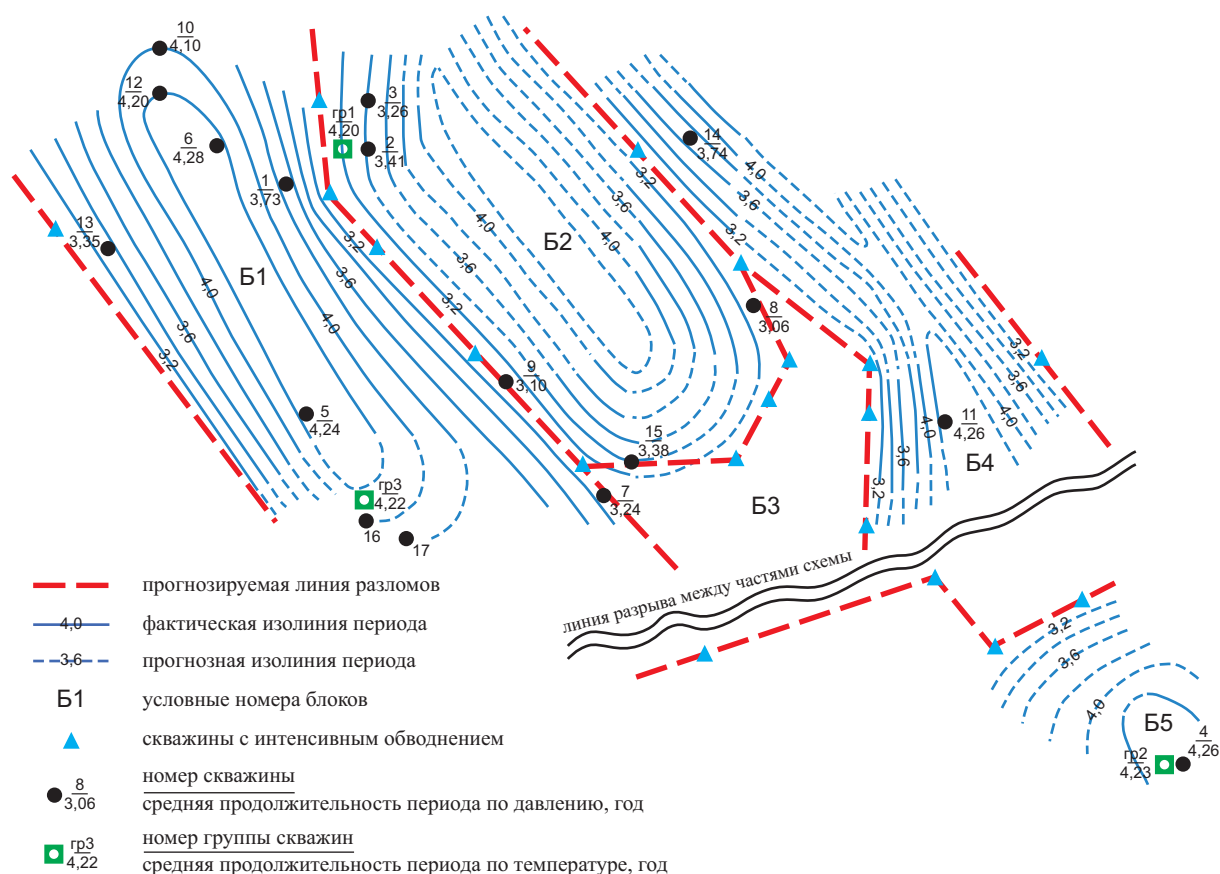


Рис. 2. Схема продолжительности периодов изменения пластовых температур и давлений по площади залежи Астраханского ГКМ

изменения пластовых температур (по предварительным данным в работе [11] этот период был оценен в 4,23 года). По скв. 1–3, находящимся вблизи разлома, период изменения пластовых давлений в среднем составляет

3,47 года, а температур – 4,20 года. Можно предположить, что из-за относительно малых (по сравнению с амплитудами колебаний давлений) амплитуд колебаний температур их вариации с периодами изменения 1 и 2,5 года

остались незамеченными. Все вышеизложенное хорошо согласуется с действием так называемой главной деформационной волны в земной коре с периодом около 4 лет [11]. Н.А. Касьянова [14] также указывает на близкий к этому периодический интервал, равный 3÷5 годам, который наблюдается в изученных ею разномасштабных явлениях в геосреде.

Проявления экстремальных значений пластовых давлений и температур несколько не совпадают по времени. Так, в скв. 4 экстремальные значения температур достигаются на 0,93 года раньше, чем экстремальные значения давлений.

Анализируя динамику средних трендов температуры (см. рис. 1), можно отметить, что наблюдается еще один цикл с периодом, превышающим 4 года. По 1-й группе скважин минимум температуры отмечается в конце 1996 г. (1995,81), а максимум – в конце 2005 г. (не ранее 2004,75). Разница во времени равна 8,94 года, что соответствует циклу с периодом 17,88 года. Разница в температуре – 3,87 °С.

По скв. 4 минимальная температура соответствует 1995 г. (1994,65), а максимальная – 2004 г. (2003,5). Разница во времени равна 8,85 года, что соответствует периоду цикличности 17,7 года. Разница в температуре – 3,85 °С.

По 3-й группе скважин максимальное значение температуры (113,5 °С) соответствует 1994 г. (1994,15), а время с минимальным значением не установлено, так как находится за пределами периода измерений температур – ранее 1989 г. Зафиксированная минимальная температура (110,2 °С) соответствует времени 1989 г. (1989,18). Разница в температуре равна 3,3 °С, т.е. за половину периода она будет соответствовать разнице температур по скв. 1–4.

Таким образом, период второго выявленно цикла изменения температур составляет около 18 лет, что совпадает с результатами наблюдения за динамикой пластовых давлений, отраженными в работе [9].

На рис. 1 представлена согласованность изменений параметров отдаленных друг от друга геологических образований: пластовой системы Астраханского ГКМ и Воронежского кристаллического массива. Так, на протяжении 1998–2005 гг. суммарная годовая энергия

сейсмособытий Воронежского кристаллического массива имеет два максимума – в 2000 и 2004 гг., которые синхронно отразились в геосреде пластовой системы Астраханского ГКМ в виде двух максимумов пластового давления, зафиксированных в скв. 4 [11], а также двух максимумов температуры по скв. 1–4 со смещением по времени на 0,86 года ранее и в скв. 5, 16 и 17 со смещением на 0,79 года позднее.

Близкие изменения в текущем сейсмологическом состоянии породных массивов удалось установить как западнее Астраханского ГКМ – в Карпатах, так и намного восточнее – на территории Казахстана и Дальнего Востока.

Эти, как и полученные ранее [9, 11], факты свидетельствуют о том, что впервые выделенные в пределах Астраханского ГКМ особенности виброгеодинамики могут иметь универсальный характер и проявляться повсеместно. Следует подчеркнуть, что изученные колебания пластовых давлений связаны с внешними, гораздо более крупными событиями, вероятно, планетарного характера. Не исключено, что они сопровождалась мощной активизацией глубинного энерго-, массо- и газообмена в осадочной толще, что позволяет на новых основаниях допустить наличие вертикальной флюидоподпитки на ряде месторождений (в том числе на Астраханском ГКМ), необходимыми условиями для которой являются наличие глубинных разломов и цикличности сжатий и разуплотнений геосреды.

О наличии флюидоподпитки и, следовательно, глубинных разломов на Астраханском ГКМ свидетельствуют «горячая зона» в его термополе (которая не может быть объяснена отсутствием солей над продуктивной толщей) и то, что эта зона на протяжении более двадцати лет относительно стабильна.

Таким образом, виброгеодинамическая цикличность геосреды представляет собой природную реальность, которая присуща любому объекту недропользования. Это определяет практическую значимость полученных результатов, в том числе для дополнительного обоснования расширения комплексных геолого-геофизических исследований и необходимости ее учета при прогнозировании показателей разработки месторождений [15].

Список литературы

1. Верба М.Л. Проявление свойств тиксотропности пород в структуре земной коры / М.Л. Верба. – Тверь: Каротажник, 2010. – Вып. 9 (198). – С. 85–113.
2. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород / Ю.О. Кузьмин, В.С. Жуков. – М.: Изд. Моск. гос. горного унив-та, 2004. – 262 с.
3. Молоденский С.М. О локальных аномалиях амплитуд и фаз приливных наклонов и деформаций / С.М. Молоденский // Известия АН СССР. – 1983. – № 7. – С. 3–9. – (Серия «Физика Земли»).
4. Огнев А.Ф. Импульсные волновые процессы в самоорганизующихся и развивающихся геологических системах / А.Ф. Огнев // Газовая промышленность. – 2011. – № 5. – С. 18–23.
5. Рябецкий Ю.Л. Законы квазипластического течения трещиноватых сред / Ю.Л. Рябецкий // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. – Новосибирск: Изд-во СО РАН (Филиал ГЕО), 2003. – С. 209–211.
6. Царёв В.П. Особенности нефтегазообразования в зонах тектоносейсмической активации / В.П. Царёв. – Новосибирск: Наука (СО РАН), 1988. – 192 с.
7. Чиков Б.М. Режимы колебаний и волн в литосфере / Б.М. Чиков // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. – Новосибирск: Изд-во СО РАН (Филиал ГЕО), 2003. – С. 209–211.
8. Соловьёв Н.Н. Тектонодинамические условия нефтегазонакопления: автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук / Соловьёв Николай Николаевич. – М.: ВНИИГАЗ, 1992. – 40 с.
9. Чельцов В.Н. Модель обводнения залежи и продукции скважин в карбонатных низкопроницаемых коллекторах / В.Н. Чельцов, М.И. Микляев, Т.В. Чельцова // Геология нефти и газа. – 2009. – № 3. – С. 37–64.
10. Чельцов В.Н. Особенности динамики обводнения продукции скважин в карбонатных низкопроницаемых коллекторах / В.Н. Чельцов, Т.В. Чельцова // Геология нефти и газа. – 2009. – № 5. – С. 38–43.
11. Чельцов В.Н. Виброгеодинамическая причина цикличности динамики пластовых давлений в простаивающих скважинах / В.Н. Чельцов, М.И. Микляев, Т.В. Чельцова и др. // Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России до 2030 г.: сб. науч. статей. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. – С. 145–150.
12. Демежко Д.Ю. Исследование температурных вариаций в скважине KUN-1 (остров Кунашир) / Д.Ю. Демежко, А.К. Юрков, В.И. Уткин и др. // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 434. – № 6. – С. 811–816.
13. Губерман Д.М. Мониторинг геополей в Кольской сверхглубокой геологической лаборатории: история, опыт, основные проблемы и результаты / Д.М. Губерман, О.Г. Бадалов, С.Л. Певзнер и др. // Вестник МГТУ. – 2007. – Т. 10. – № 2. – С. 236–243.
14. Касьянова Н.А. Современная аномальная геодинамика недр и ее влияние на объекты нефтегазового комплекса / Н.А. Касьянова, Ю.О. Кузьмин; предисловие акад. А.Л. Яншина. – М.: Геоинформмарк, 1996. – С. 56.
15. Чельцов В.Н. Обоснование учета виброгеодинамики при формировании представлений об особенностях разработки месторождений углеводородов / В.Н. Чельцов, М.И. Микляев, В.С. Жуков и др. // Эффективность освоения запасов углеводородов. Геология и геофизика: науч.-техн. сб. – Ухта: Газпром ВНИИГАЗ (Филиал в г. Ухта), 2010. – Ч. 1. – С. 218–231.